

7-2-2020

Dynamic Stochastic Relay Selection Algorithm in Peer-to-Peer Networks

Chengwei Zhang

Department of Electronics and Information Engineering, HuaZhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

Wenqing Cheng

Department of Electronics and Information Engineering, HuaZhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

Hei Xiaojun

Department of Electronics and Information Engineering, HuaZhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Dynamic Stochastic Relay Selection Algorithm in Peer-to-Peer Networks

Abstract

Abstract: A stochastic routing algorithm for selecting appropriate relay nodes in peer-to-peer networks was proposed. *This algorithm was constructed using a stochastic programming framework by leveraging the actual delay of local links and the statistical delay distributions of non-local overlay links. In order to approximate the statistical delay distribution of non-local overlay links, the historical delay values of each link were utilized to approximate the link delay distribution. This algorithm was fully distributed and the stochastic link measurement data could be updated between neighboring nodes at a longer time granularity to reduce routing overhead.* This algorithm and two other traditional algorithms were evaluated to find single and multiple overlay paths via relays between two end-hosts using simulation experiments. The experiment results demonstrate that this algorithm may achieve significant stochastic gain in terms of shorter delay and smaller packet loss than two routing algorithms including the deterministic shortest path algorithm and the minimum hop routing algorithm.

Keywords

stochastic relay routing, network measurement, peer-to-peer network, overlay routing

Recommended Citation

Zhang Chengwei, Cheng Wenqing, Hei Xiaojun. Dynamic Stochastic Relay Selection Algorithm in Peer-to-Peer Networks[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(3): 711-719.

一种对等网络中动态随机中继节点路由算法

张成伟, 程文青, 黑晓军

(华中科技大学电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 提出了一种对等网络中继节点选择的随机路由算法, 该算法应用随机规划框架, 通过权衡本地路径真实时延以及非本地网络路径的时延统计分布, 从而选择端到端期望时延最短的中继节点完成流量传输。随机中继路由算法可分布式实现, 通过相邻节点动态更新路由的统计测量信息, 相比于经典的静态路由算法能够获得更低的时延性能。为了更好地测量非本地网络覆盖路径的统计时延分布, 路由算法拟合覆盖链路上的历史时延测量数据, 并通过仿真实验表明, 基于本算法建立的中继单路径/多路径可有效减少端到端路径时延和丢包率。

关键词: 随机中继路由; 网络测量; 对等网络; 覆盖路由

中图分类号: TP393.4 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 03-0711-09

Dynamic Stochastic Relay Selection Algorithm in Peer-to-Peer Networks

Zhang Chengwei, Cheng Wenqing, Hei Xiaojun

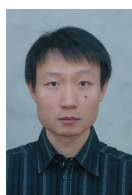
(Department of Electronics and Information Engineering, HuaZhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A stochastic routing algorithm for selecting appropriate relay nodes in peer-to-peer networks was proposed. *This algorithm was constructed using a stochastic programming framework by leveraging the actual delay of local links and the statistical delay distributions of non-local overlay links. In order to approximate the statistical delay distribution of non-local overlay links, the historical delay values of each link were utilized to approximate the link delay distribution. This algorithm was fully distributed and the stochastic link measurement data could be updated between neighboring nodes at a longer time granularity to reduce routing overhead.* This algorithm and two other traditional algorithms were evaluated to find single and multiple overlay paths via relays between two end-hosts using simulation experiments. The experiment results demonstrate that this algorithm may achieve significant stochastic gain in terms of shorter delay and smaller packet loss than two routing algorithms including the deterministic shortest path algorithm and the minimum hop routing algorithm.

Keywords: stochastic relay routing; network measurement; peer-to-peer network; overlay routing

引言

多种互联网应用的网络属性体现了显著的随



收稿日期: 2014-06-28 修回日期: 2014-10-28;
基金项目: 国家自然科学基金(61370231); 华中科技大学自主创新基金(HUST:2014TS099);
作者简介: 张成伟(1979-), 男, 湖北武汉, 博士生, 讲师, 研究方向为覆盖网络路由及优化、网络测量; 程文青(1964-), 女, 湖北武汉, 教授, 博导, 研究方向为高速通信网络, 教育信息化标准等。

机和统计特性, 如 P2P 资源共享网络^[1]和时延容忍网络^[2]中节点之间的时延体现出显著的时空关系统计特性, 在线社交网络^[3]的用户行为也可能通过统计分布的规律进行刻画。这些统计特性可通过网络测量的方法获得。通过随机规划框架所构建统计数学模型, 相对于传统的确定性模型, 可充分利用以上的网络统计特性, 获得统计收益, 提升系统性能。

<http://www.china-simulation.com>

对等网络路由问题是完成高效数据传输的基础。最近的测量结果^[4]表明在中国有接近 44% 的互联网用户没有独立 IP 地址，而是使用了地址转换设备(NAT)接入互联网，该状况直接造成了在进行诸如 P2P 文件传输或者流媒体传输时，用户之间因为无法建立直连路径而导致对等网络服务受限和性能低下。文献[5]进一步表明互联网的路径时延特性并不符合欧式空间中的“三角不等式”原理，接近 47% 的端节点之间通过中继节点的路径与互联网缺省直连路径的时延相当，甚至时延更小。

基于以上结果，本文提出了在对等网络中的随机中继节点路由算法。首先，根据对等网络中覆盖链路的实际情况，本文提出了实际存在的节点路由问题：在源节点和目的节点由于直连路径质量差或者因为 NAT 对于建立连接的限制无法建立直连路径的时候，可利用对等网络的应用层路由特性，寻找并发现网络中存在的中继节点完成数据转发。本文研究了中继节点随机路由算法的两个场景：单路径/多路径路由算法，以及算法动态更新机制。本文讨论了算法的实现细节并描述了用于性能评估的仿真实验环境，最后对多个路由算法的仿真结果进行了分析和讨论。

1 问题提出

对等网络构建在基于“尽力服务”的互联网基础架构。由于在网络路径上的各种数据流都会竞争链路带宽，因此节点间的覆盖链路性能可能随着时间而变化。节点可以通过主动测量或者被动监测覆盖链路的性能，多次测量结果可以为对等网络中的覆盖链路提供大量可用的性能数据。这些大数据量的测量结果，可以提炼其对应链路的统计特性。对等网络可通过精心设计路由算法对网络拥塞做出合适的响应从而为终端用户提供满意的服务质量。

如图 1 所示，对于希望建立连接的节点 S 和节点 D，缺省路径是基于底层的互联网路由算法，两个节点之间的直连路径“S→D”。由于两个节点因为受 NAT 或网络条件的限制，无法建立直连路径。

而对等网络可在底层物理网络之上构造一个应用层虚拟网络，在节点间形成应用层的逻辑链路。如果存在具有公网 IP 地址的节点愿意作为中继节点，协助节点 S 和节点 D 进行数据转发，在节点 S 和 D 之间可能存在多条逻辑链路。如图 1 所示，在无法建立连接的节点对(S, D)，通过中继节点 R₁，能够在对等网络中建立起间接的逻辑链路“S→R₁→D”。除此之外，如果网络有多个中继节点存在，节点间可以建立更多的中继路径以便能够在网络出现拥塞的情况下最大限度提高终端用户的服务质量。

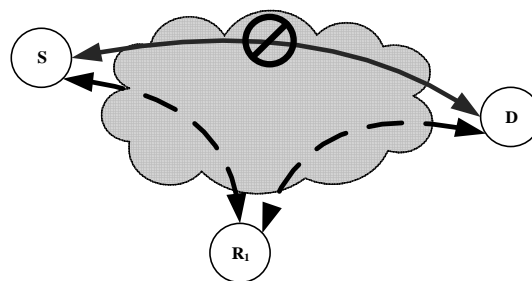


图 1 对等网络利用中继节点增强网络性能示例图

2 随机路由算法

2.1 随机单路径路由算法

本文中使用的 $G = \{N, A\}$ 描述对等网络的拓扑结构，其中 N 表示网络中节点或中继节点的集合，而 A 表示网络中覆盖链路的集合。 D_{ij} 表示链路 (i, j) 时延值。 E_{ij} 表示在某一观测值集合下的链路 (i, j) 时延的数学期望值，该期望时延是由本地链路的观测时延值和非本地链路的期望时延值构成。节点间的链路时延分布可以通过网络测量后经过统计方法计算获得。本文假设对等网络中所有覆盖链路的时延分布函数是对于该结点是初始未知，但是通过离散化拟合算法可以近似的描述链路时延分布。因此算法在具体实现时可以通过最近阶段路由历史测量结果获得近似离散时延分布。由于该算法可分布式实现，对等网络中的每个节点在某个时刻能够通过网络测量获知与之建立连接的链路的时延，而无法获知对等网络中所有路径的真实时

延, 为了获取非本地链路的时延状态, 本算法引入了非本地路径的期望路径进行描述。

定义 1: $R_{ij} = \{1, 2, \dots, r_{ij}\}$ 表示链路 D_{ij} 上所有可能时延状态的集合; d_{ij}^r 是在时延状态 r 下的链路 (i, j) 真实时延, 其中 $r \in R_{ij}$; p_{ij}^r 表示时延状态 r 发生的概率。

定义 1 中给出随机路由框架中对于单一逻辑路径时延的定义。一条逻辑路径的时延特征可以通过某时刻的时延观测值以及该时延发生的概率这两个参数确定。在网络实际部署应用中, 链路时延观测值集合需要满足以下条件: $\sum_{r=1}^n p_{ij}^r = 1, n = \max(R_{ij})$, 即对于一条链路而言, 利用观测的离散时延状态对其链路状态进行拟合时, 所有的离散时延状态的概率总和应为 1。

本文引入的随机路由框架, 路径的性能状态由链路时延概率与链路时延值来共同确定。数据分组的转发通过以下的过程从源节点到达目的节点。当一个数据分组到达节点 i 的时候, 我们假定此时本地链路的时延值是已知的并且是准确的, 即通过网络测量节点 i 可以准确获知当前本地链路的真实时延值; 但是, 节点 i 非本地链路的当前时延状态是未知的。节点 i 选择后继转发节点 j 的策略如下: 选择当前节点 i 与后继节点链路的当前时延和后继节点与目的节点链路的期望时延之和最小的后继节点作为中继转发节点。如公式(1)所示, D_{ij}^o 表示链路 (i, j) 的当前观测值; E_j^o 表示当前从节点 j 到目的节点的期望时延。 T_{ij} 表示从节点 i 到节点 j 利用中继节点所形成的最短路径。

$$T_{ij} = \arg \min_{j \in S(i)} \{D_{ij}^o + E_j^o\} \quad (1)$$

对此公式进行推广作为中继节点的选择标准, E_j 表示从节点 j 到目的节点随机最短路径的期望时延, $S(j)$ 表示节点 j 所有后继节点的集合。节点 j' 的算法决策规则如下: 对于任何时延观测值 $\{D_{jd}^o : j' \in S(j)\}$, 决策算法可以根据公式(2)定义选择合适的后继节点 j' :

$$j' \in \arg \min_{j \in S(j)} \{D_{jd}^o + E_j^o\} \quad (2)$$

在具体算法实现中, 系统仅需要保存网络中每

个节点的到目的节点随机最短路径的期望时延 E_j , 可通过查表实现。当一个数据分组尝试通过下一跳节点进行传输之时, 算法会查询当前所在节点的后继节点的 E_j 值并根据公式(2)选择具有最小时延的后继节点进行数据传输。

2.2 随机多路径路由算法

对等网络中通过不同的中继节点可存在多条应用层逻辑路径, 如果进行多径传输, 可有效减少对等网络数据传输的丢包率并增强网络传输可靠性^[6]。每一条随机路径都独立表示在整个网络中时延观测集合下一条到目的节点的路径。相对于整个网络链路时延的观测集合, 假设两条路径至少存在一条不同链路。定义随机最短路径为拥有最小期望时延的路径。对于第 k 条随机最短路径的定义是在所有随机路径集合中, 去除前 $k-1$ 条随机最短路径外, 具有最小时延的路径。 ω_i 表示从节点 i 所有链路的时延一次观测值的集合, Ω_i 表示节点 i 所有可能时延值的集合, 其中 $\omega_i \in \Omega_i$ 。 v_i^k 表示从节点 i 到目的节点 n 的第 k 条随机路径的期望时延, 则 k 条随机最短路由问题可以由公式(3)给出:

定义 2:

$$\begin{aligned} v_i^k &= E[\min^k \{D_{ij}(\omega_i) + v_j^l : l=1, 2, \dots, k, j \in S(i)\}], \\ k &= 1, 2, \dots, K, i \in N \setminus \{n\}, \\ v_n^k &= \{0, k=1 | \infty, k \neq 1\} \end{aligned} \quad (3)$$

其中 \min^k 表示该集合中第 k 条随机最短路径, 为了避免在目的节点 n 出现路径回路的情况, 定义 2 中给出了当路径达到目的节点时, 仅有一种路径选择, 即 $v_n^1 = 0$; 而 $v_n^k = \infty (k > 1)$ 则保证了路由算法在达到目的节点后收敛, 即在目的节点完成路由算法的最终计算, 获得中继节点最短路径。

表 1 给出了随机多路径路由优化算法的伪代码描述。对等网络中的应用层路由在寻找 K 条随机路径时, 首先会利用网络测量获得的时延观测值对当前节点链路期望路径进行更新, 更新的数据存储到扩展的随机路由表中, 为随机路由算法提供数据支撑。扩展随机路由表可以记录当前节点所有可

能的随机路由路径,在实际算法实现中可以限制多条路径的数量(K),因此在进行实际的网络路由选择之时,算法完成计算后,该扩展路由表仅需保留 K 条随机最短路径即可。

表 1 随机多路径路由优化算法
 K 条 ($k \geq 1$) 随机路由算法步骤

- 1: 初始化路径信息及控制变量:
 $path_id \leftarrow packet_id \bmod K,$
 $current_node \leftarrow source_node,$
- 2: 更新随机最短路径的期望时延值。
 更新扩展随机路由表以保存 K 条随机路径。
 令 $i = current_node, k = path_id,$ 且 $K \leq S(i),$
 寻找满足条件的下一跳节点 j' 和相应的随机路径 l'
 对于任意节点 $i \in B(j), B(j):$ 节点 j 先驱节点集合,
 计算 $D_{ij'}^o + v_{j'}^{l'} = \arg \min^k \{D_{ij}^o + v_{j'}^{l'}, l = 1, 2, \dots, k\},$
 其中 D_{ij}^o 表示某一时刻链路 (i, j') 的观测时延值,
 而 D_{ij}^o 表示在某一时刻链路 (i, j) 的时延观测值。
- 3: $current_node \leftarrow j', path_id \leftarrow l'.$
 if ($current_node == destination_node$) 算法停止;
 else 跳转至 2。
- 4: 根据算法选择的路径选择中继节点。
 停止

2.3 链路时延离散拟合及路由动态更新

虽然随机路由算法是根据链路时延统计数据选择合适的路径进行数据传输,但是由于链路时延状态会随着时间进行变化,因此基于统计结果的数据也可能存在相应的测量误差。为了尽可能地减少因链路变化带来了时延链路不确定性,本文在所提出的随机路由算法中加入了路由更新机制以增强算法的鲁棒性。

文献[7-8]假定链路时延的分布是已知的,并且假定当节点间链路状态发生改变之时,该时延分布函数是不随时间变化而变化。由于互联网链路随着时间的变化会可能呈现时变的统计特性,链路的时延分布函数也可能随着时间而变化。与以上研究不同,本文提出的路由算法改进了链路信息更新机制,充分利用链路历史时延数据对端到端的链路时延模型进行拟合,从而增强算法动态性和适应性。

由于一个连续的概率分布能够利用精度足够

高的离散概率函数来进行拟合,因此本文提出通过时延测量对随机网络中的时延分布概率进行近似拟合,从而获得链路上时延值以及时延离散分布概率^[9]。链路时延信息可使用类似于 BGP 路由消息的更新机制在网络节点间进行更新,区别在于该路由消息中包括了非邻居节点的期望路径时延数据,使得节点在进行中继路由之时能够获取更加准确的完整传输路径的信息。公式(4)给出了时延的更新机制,设定为利用滑动平均的历史时延测量数据作为时延评估和时延分布拟合标准。表 2 给出了随机路径时延拟合及动态更新算法伪代码描述。

表 2 随机路径时延拟合及动态更新算法描述
随机路径时延拟合及动态更新步骤

- 1 初始化变量控制信息
 $U_i^L = \{0\}, i = 1, 2, \dots, N.$ U_i^L 为节点 i 时延数据队列,
 L 为节点端时延统计队列长度。
 $R_i = \{r_i\}, D_i = \{d_i\}, P_i = \{p_i\}, t = 1, 2, \dots, M.$
 R_i 为时延分布区域控制集合, D_i 为平均时延集合,
 P_i 平均时延分布概率集合 $i \leftarrow 1, counter[M] \leftarrow 0,$
 $temp \leftarrow 0.$
- 2 在每一个路由更新周期 t 内:
- 3 从后驱节点集 $S(i)$ 选取节点 j , 链路 (i, j) 观测时延 $D_{ij},$
 if ($i == L$) //时延队列已满
 删除队列 U_i^L 尾部数据, 并将 D_{ij} 加入到队列首部,
 else 将 D_{ij} 加入队列 U_i^L 首部。//时延队列有足够空间
 更新 $l \leftarrow l + 1.$
 更新期望时延 $E_{ij} = \alpha \times D_{ij} + (1 - \alpha) \times \sum_{k=1}^n (p_{ij}^k \times d_{ij}^k)$ 路由表
- 4 计算链路离散时延及分布。
 对于 U_i^L 中的每一条历史时延记录 u_i^k , 寻找 R_i 两个相邻的时延范围, 使得 $u_i^k \in [r_t, r_{t+1}], t \in M$
 if $u_i^k \in [r_t, r_{t+1}]$
 $counter[t] \leftarrow counter[t] + 1, D_i[t] \leftarrow D_i[t] + u_i^k$
 更新平均时延: $D_i[t] \leftarrow D_i[t] / counter[t]$
 更新时延分布概率: $P_i[t] \leftarrow counter[t] / L$
- 5 更新 $i \leftarrow i + 1$
 : if ($i \leq N$), 跳转至 3, else 算法停止。
 停止

$$E_{ij} = \sum_{k=1}^n (p_{ij}^k \times d_{ij}^k) = p_{ij}^1 \times d_{ij}^1 + p_{ij}^2 \times d_{ij}^2 + \dots + p_{ij}^k \times d_{ij}^k \approx \alpha \times d_{ij}^1 + (1 - \alpha) \times \sum_{k=1}^n (p_{ij}^k \times d_{ij}^k) \quad (4)$$

由于链路的当前状态与最近一次的观测值或者测量值最为接近, 因此最近时延观测值 d_{ij}^1 以及其概率 p_{ij}^1 会对随机路由算法的最终结果产生较大的影响。文中使用 α 替代 p_{ij}^1 以区分该概率值同其他离散概率值的区别, 平衡最近观测时延值与历史观测时延集合对期望值的影响。下节的仿真实验中, 本文将评测最近链路时延和其分布 α 对随机路由算法的影响, 并且对最近时延测量结果和历史时延测量结果的权衡作进一步研究和分析。

3 算法实现及仿真环境

本节介绍算法实现和网络仿真环境的配置。基于仿真软件包 SimLib 2.6^[10], 我们不仅实现了本文提出的随机路由算法, 而且实现了文献[7-8]提出的算法, 并进行了相应的仿真实验和分析比较。图 2 描述了仿真实验所使用了两类典型对等网络中选择中继节点的拓扑结构。

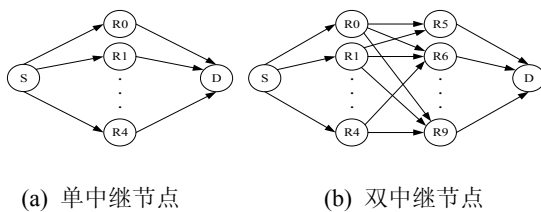


图 2 对等网络仿真拓扑结构图

3.1 仿真环境搭建与配置

研究表明网络中 80% 中继路径可以通过至多两个中继节点的转发可以获得相应的网络收益^[5], 因此仿真实验所使用了如图 2 所示的两种对等网络拓扑: 分别给出了单中继节点和双中继节点两种情况的典型中继节点拓扑图。在单中继节点拓扑图中, 节点 S 到节点 D 的数据分组仅通过一个中继节点进行传输。在该网络拓扑中, 在源节点 S 和目的节点 D 之间存在有 5 个中继节点。而在双中继

节点拓扑图中, 数据分组在从源节点 S 达到目的节点 D 之前会经过 2 个中继节点的进行转发。在该网络拓扑中, 拥有 10 个中继节点, 这些中继节点被分成两列安排在源节点和目的节点之间。本文以该网络拓扑图作为典型的对等网络中继节点路由的仿真场景, 对动态随机路由算法、经典的确定性最短路径和最小跳算法进行性能评测, 并完成数据分析和性能比较。

3.2 对等网络链路的丢包和时延模型

对等网络中的节点间链路为逻辑链路, 一条逻辑链路可能包含多条物理链路。这些逻辑路径相较于物理链路而言, 在丢包率和时延特性上可能存在显著差异。建立链路的精确丢包模型非常困难, 但本文提出的基于随机近似优化模型仅要求链路的统计特性可测量。基于简单性的考虑, 本文的仿真实验中采用双态的马尔可夫模型(吉尔伯特模型)以近似互联网的丢包行为^[11]。

类似于丢包模型, 链路的时延模型也是难以精确获取, 但可通过测量构建数据模型。文献[12]研究表明端到端路径的时延分布特性近似的符合伽玛函数分布。对等网络链路时延的统计性能也可以通过网络测量获取, 最简单的方式可使用最近时延观测值以及历史观测数据建构统计模型。本文利用历史时延抽样数据拟合链路时延分布函数, 为了在不同的网络环境中对随机路由算法进行评估和分析, 我们假设网络链路时延符合以下 3 种不同分布, 包括连续平均分布, 高斯分布和伽玛分布。我们假定链路的时延在[5 ms, 320 ms]的范围进行变化, 对于符合伽玛分布链路时延, 我们根据文献[12]提及的参数 α 和 β 对该链路的时延变化进行约束。需要指出的是, 本文提出的算法也适用于更为一般性的丢包和时延统计特性。

4 仿真结果

仿真器在路由选择仿真模块之外实现了一个以一定速率产生数据流量的流量发生器模块, 在源

节点 S 和目的节点 D 之间建立端到端的链接, 并进行数据传输。假设仿真网络拓扑中的链路统计特性互相独立。当数据分组进行多径传输时, 轮流选择路径进行传输。数据分组从源节点通过中继节点传到目标节点, 仿真器运行不同的路由选择算法, 在传输路径上的节点构建相应的转发表, 不同算法可能得到不同的转发表。本文提出的算法仅依赖于节点的本地链路实时信息和非本地覆盖链路的统计信息进行计算, 可分布式实现。

4.1 随机路由算法与经典路由算法的比较

我们评测了 K 条随机最短路径算法(K -th Stochastic Shortest Path, KSSP)和两种经典路由算法: 确定性最短路由算法(Deterministic Shortest Path, DSP)和最小跳路由算法(The Minimal Hop, MHP), 评测指标包括平均时延和丢包率。如图 3 所示, 动态随机路由算法(DKSSP)在网络状况相同的条件下较 DSP 和 MHP 具有更小的平均时延。在仿真的两种典型网络场景下, DKSSP 相对于两种经典路由算法减少近 20%~30%时延, 当算法使用多条路径进行数据传输时, 多路径平均时延比单路径平均时延有稍许增加, 这是因为算法选择多条最短路径, 一旦一条最短路径被选取, 该路径将会从后续的备选路径集中删除, 避免重复选择相同的最短路径。

在分析算法的平均时延的基础之上, 本文对由不同算法所引起链路丢包率进行了分析和比较。如图 4 所示, 在多路径路由协议引入前向纠错编码(FEC)能够显著减低传输路径上的丢包率。实验结果表明使用了 FEC 的 DKSSP 路由协议相较于其他两种也使用了 FEC 的经典路由协议, 有着更小的平均丢包率。从该图中可以看到, DKSSP 所呈现出的丢包性能是相对稳定的, 原因主要在于本算法中引入了路径的历史时延统计数据, 在进行路径选择的时候能够选取性能更好的路径来进行数据传输, 因此端到端路径丢包率也会有相应的性能提升。

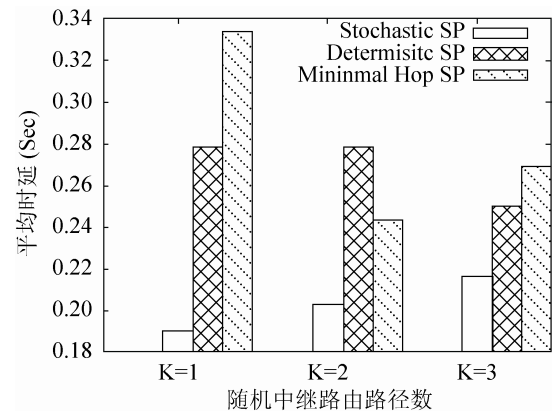
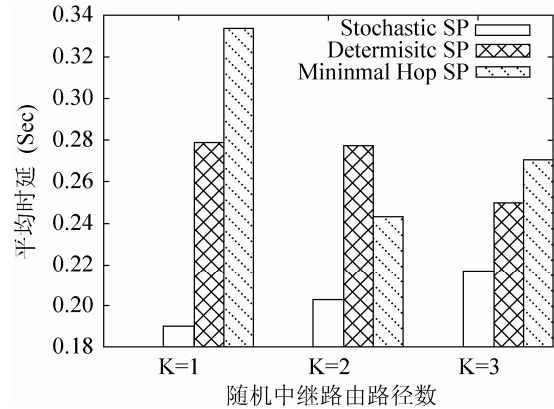


图 3 平均时延性能比较图

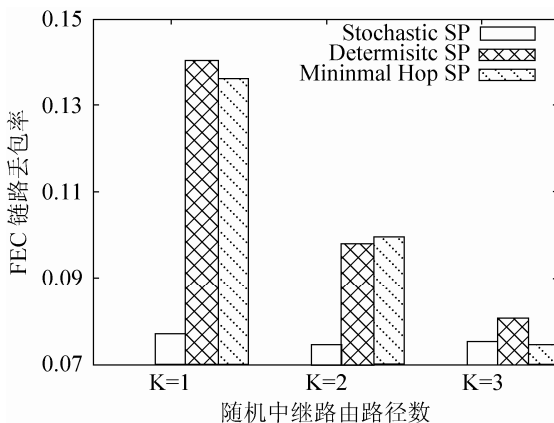
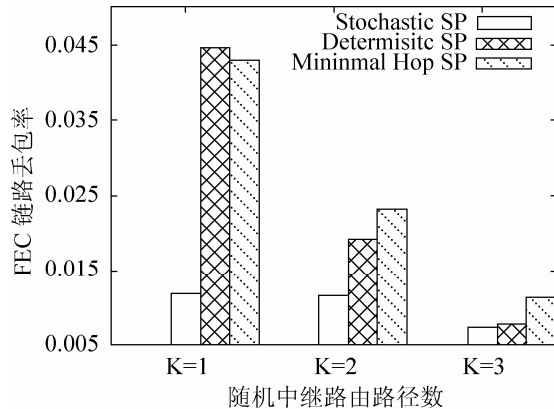


图 4 FEC 丢包率性能比较图

4.2 动态随机路由与静态随机路由的比较

为了考察随机路由算法的可行性, 本文实现了 2 种不同随机路由算法: 动态随机路由算法(DKSSP)和静态随机路由算法(KSSP)。2 种算法主要区别在于 DKSSP 会根据链路统计数据对路由信息进行动态更新, 而 KSSP 则仅依赖于已知的路由统计信息, 忽略链路的动态性能。图 5 给出了 DKSSP 和 KSSP 这两种随机算法在相同网络拓扑条件下的平均时延性能对比, 我们发现 DKSSP 与 KSSP 相比取得类似的平均时延效果, 仅仅略微增加。需要说明的是, DKSSP 通过权衡本地路径真实时延以及非本地覆盖路径的统计时延分布来进行路径选择, 在该仿真中并未考虑有 2 个重要的参数: 最近时延观测值 α_{ij} 以及其分布概率 α 并未在此处考虑。因此, 在该条件下, DKSSP 获得收益是有限的, 其在多跳网络环境中性能与 KSSP 相当。

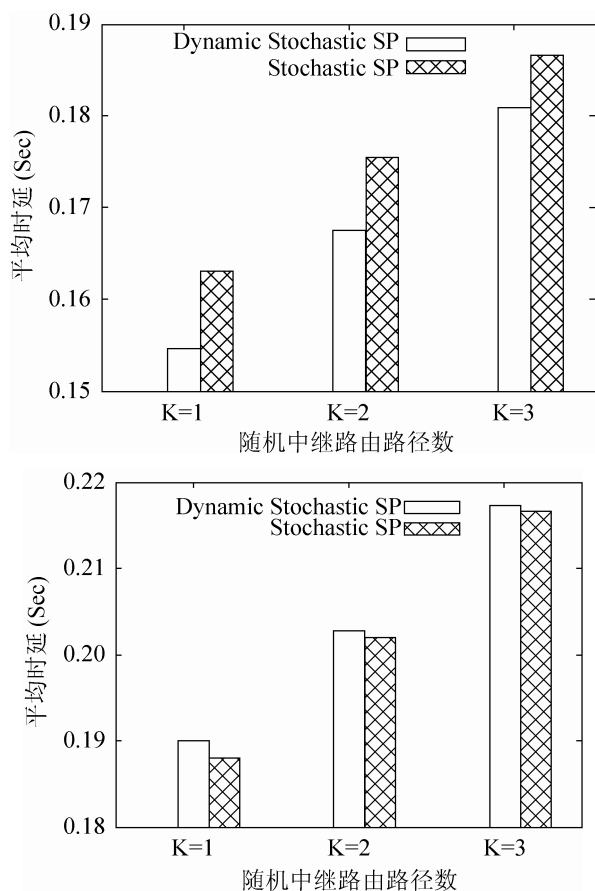


图 5 DKSSP 与 KSSP 平均时延性能比较图

如图 6 所示, 在单中继节点和双中继节点拓扑网络中, DKSSP 相对于 KSSP 能够获得更低的链路丢包率, 从而增强链路的稳定性以及数据传输的可靠性。该仿真结果说明, 通过应用链路时延离散拟合及路由动态更新算法, 可以降低约 20%~40% 链路丢包率。

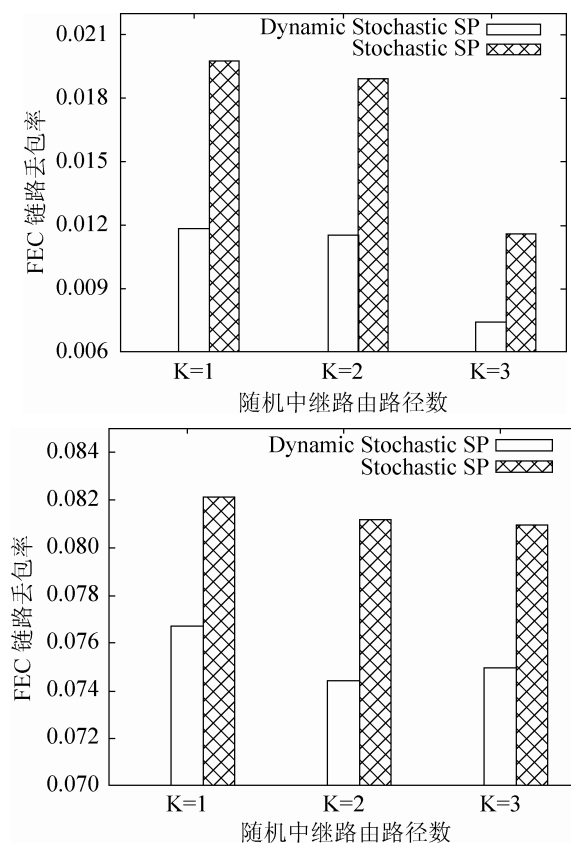


图 6 DKSSP 与 KSSP 丢包率性能比较图

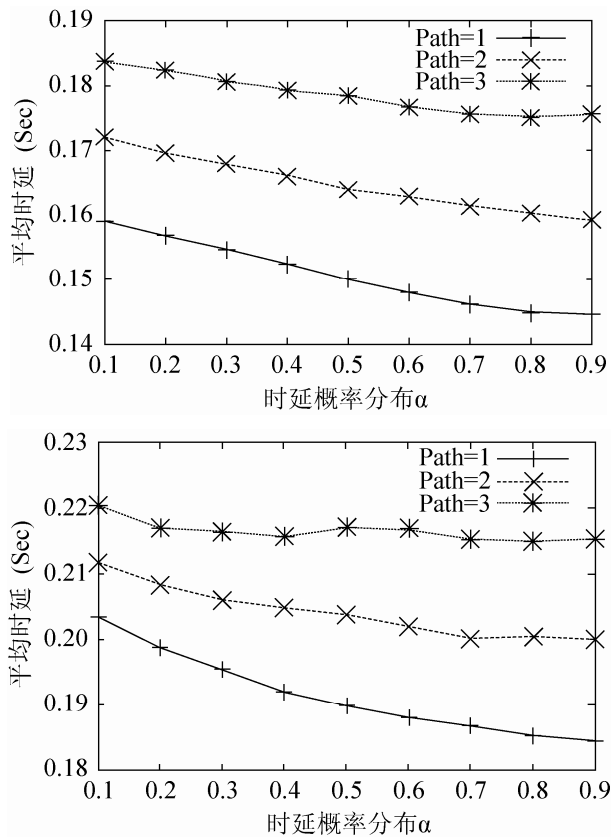
动态随机路由在传统路由表的基础上, 增加了邻居节点到目的节点的期望路径的时延值, 用来计算从当前节点到目的节点的随机路径。扩展路由表的开销为 $KN(m+2)/m$, 其中 K 表示待选的随机路径条数, N 表示当前节点的邻居节点, m 表示路由表中的总列数。由该公式可知, 随着随机路径数量以及邻居节点数量的不同, 随机存储路由表的空间呈现一个线性增长趋势, 因此该路由表的资源需求相对终端主机的计算能力和存储能力可以接受。

4.3 权重 α 的影响

本节对不同的时延分布如何影响路由决策以

及路由性能的问题进行仿真和分析。算法将最近时延观测权重定义为 α ，由于利用时延分布抽样对链路的时延分布进行完全的拟合是非常困难的，因此仿真实验主要考虑研究 α 权重分布范围：[0.1, 0.9] 对随机路由算法的影响，此处忽略了 2 种极端情况： $\alpha=0$ 和 $\alpha=1.0$ 。 $\alpha=0$ 表示由网络测量获得最近时延观测值将不会在算法中考虑，即随机路由算法完全根据历史时延数据来进行路径选择，此时算法退化为静态随机路由算法；而 $\alpha=1.0$ 则表明随机路由算法将转化为确定性路由算法，仅考虑最近时延观测值，完全忽略由历史时延信息体现出来的链路时延特性。

为了验证和分析最近时延观测权重 α 对算法的影响，本文完成多组不同时延与不同观测概率 α 条件下的仿真实验。图 7 表示随着最近时延观测概率 α 值的增加，DKSSP 的平均链路时延呈现下降的趋势，所选择的中继链路的平均时延有近 5%~15% 的性能提示。

图 7 DKSSP 平均时延率性能图(不同 α)

通过图 8 可以观察到，在引入动态的观测概率 α 后，在网络条件相同的基础上，DKSSP 相比于 KSSP 有着更低的平均链路时延，体现出更好的网络性能。通过以上的实验结果，可以发现最近时延观测概率 α 在随机路由算法中有着极其重要的作用，在很大程度上影响算法最终决策过程。随着分布的权值 $\alpha=0.1$ 从增加到 $\alpha=0.9$ ，性能比较图可以观测到选择路径的时延在逐渐下降。这个结果也间接的证明了即使通过路由更新无法精确的对链路的时延分布特性进行精确的拟合，随机路由算法仍然可以利用最近路由时延及相关的时延分布权值来预测链路时延状态，从而获得更好的路由性能。

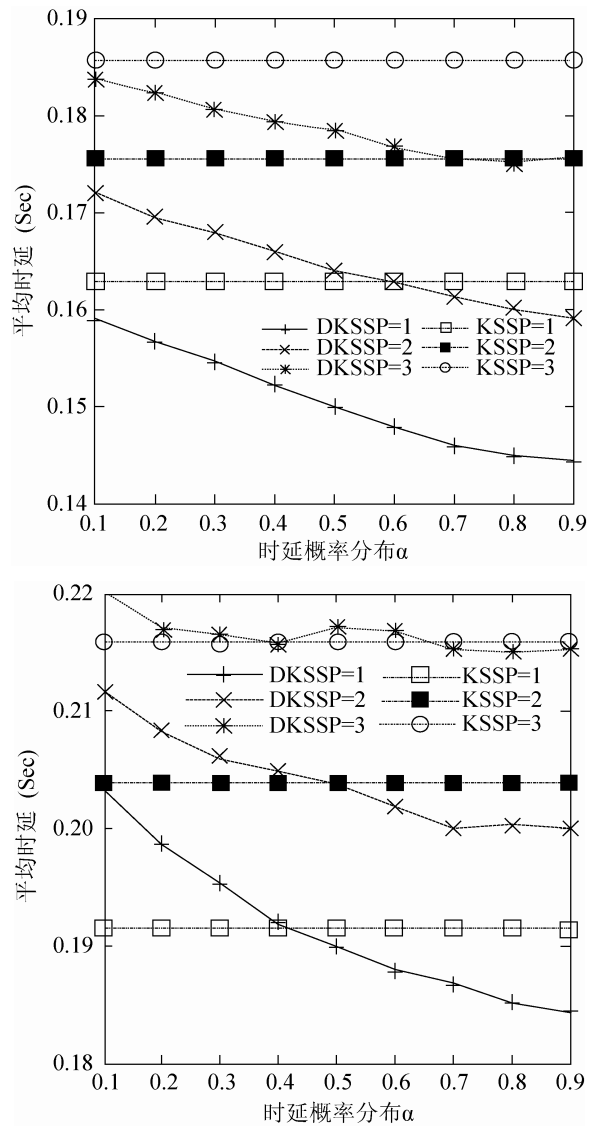


图 8 DKSSP 与 KSSP 平均时延性能比较图

5 结论

本文所提出的中继节点选择的随机路由算法, 基于随机规划框架, 通过权衡本地路径真实时延和非本地覆盖路径的统计时延分布, 选择合适中继节点实现最短时延传输。仿真实验结果表明随机路由算法对于覆盖网络中提升网络性能有显著增益, 并且经过扩展, 该算法可较为容易应用于多种覆盖网络场景。

本文研究中继节点选择算法, 主要着眼于 2 个网络性能指标, 包括时延和丢包率, 并对多种算法进行了性能评估。仿真结果验证了随机路由算法相对于传统路由算法在平均链路时延和丢包率上都能够获得明显性能增益。与最短路由算法和最小跳数路由算法相比, 本文提出的动态随机路由算法能够降低 20%~30% 的平均传输时延; 并且该路由算法与前向纠错编码协作, 可以减小 20%~40% 的端到端丢包率。

参考文献:

- [1] J Kurian, K Sarac. A Survey on the Design, Applications, and Enhancements of Application-layer Overlay Networks [J]. ACM Computing Surveys (S0360-0300), 2010, 43(1): 1-34.
- [2] Y Cao, Z Sun. Routing in Delay/Disruption Tolerant Networks: A Taxonomy, Survey and Challenges [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials (S1553-877X). 2013, 1(2): 654-677.
- [3] N Vastardis, K Yang. Mobile Social Networks: Architectures, Social Properties, and Key Research Challenges [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials (S1553-877X), 2013, 15(3): 1355-1371.
- [4] P Dhungel, K W Ross, M Steiner, et al. Xunlei: Peer Assisted Download Acceleration on a Massive Scale [C]// Proc. of the 13th Int'l Conf. on Passive and Active Measurement (PAM) (S0302-9743), Vienna, Austria: LNCS, 2012.
- [5] C Lumezanu, R Baden, N Spring, et al. Triangle Inequality and Routing Policy Violations in the Internet [C]// Proc. of the 9th Int'l Conf. on Passive and Active Measurement (PAM) (S03029743), Berlin Heidelberg, Germany: Springer, 2009: 45-54.
- [6] V Bui, W Zhu, L T Bui. Optimal Relay Placement for Maximizing Path Diversity in Multipath Overlay Networks [C]// IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM) (S1930-529X), New Orleans, LA, USA: IEEE Press, 2008: 1544-1549.
- [7] X Hei, H Song. Stochastic Relay Routing in Peer-to-Peer Networks [C]// Proc. of 2006 IEEE International Conference on Communications (ICC) (S0536-1486), Istanbul, Turkey. USA: IEEE Press, 2006: 1065-1070.
- [8] C Zhang, X Hei, W Liu, et al. On Improving Dynamic Stochastic Routing Algorithms in Overlay Networks [C]// Proc. of the 18th IEEE Int'l Conf. on Networks (ICON) (S1556-6463), USA: IEEE Press, 2012: 447-452.
- [9] A Vakili, J Gregoire. Accurate One-Way Delay Estimation: Limitations and Improvements [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (S0018-9456), 2012: 61(9): 2428-2435.
- [10] IKR. University of Stuttgart, IKR Simlib Library 2.6. [EB/OL]. (2013-05-10) [2014-04-20]. <http://www.ind.uni-stuttgart.de/INDSimLib/>.
- [11] T Nguyen, A Zakhor. Path Diversity with Forward Error Correction (pdf) System for Packet Switched Networks [C]// Proc. of IEEE INFOCOM (S0743-166X), San Francisco California, USA: IEEE Press, 2003: 663-672.
- [12] A Mukherjee. On the Dynamics and Significance of Low Frequency Components of Internet Load [J]. Internet-working: Research and Experience (S1049-8915), 1992, 5(4): 163-205.